



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

“Trabajo Final Presentado para
Optar al Grado de Ingeniero Agrónomo”

INFLUENCIA DE LA FERTILIZACION NITROGENADA
SOBRE LA PRODUCCION DE MATERIA SECA Y
RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAIZ EN DIFERENTES
SISTEMAS DE LABRANZAS

Darío Martín Moyano

DNI 26.607.064

Director: Esposito Gabriel

Co-Director: Castillo Carlos

Río Cuarto – Córdoba

Octubre/2007

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Influencia de la fertilización nitrogenada sobre la producción de materia seca y rendimiento del cultivo de maíz en diferentes sistemas de labranzas.

Autor: Darío Martín Moyano.
DNI: 26.607.064.

Director: Esposito Gabriel.

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:

(Nombres)

Fecha de Presentación: ____/____/____.

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____.

Secretario Académico

ÍNDICE DEL TEXTO

| | |
|--|-----|
| Certificado de Aprobación | ii |
| ÍNDICE DEL TEXTO | iii |
| ÍNDICE DE CUADROS | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS | v |
| Resumen. | vi |
| Summary | vii |
| 1.Introducción | 1 |
| 2.Hipótesis | 4 |
| 3.Objetivos | 4 |
| 3.1 Objetivo General | 4 |
| 3.2 Objetivo Especifico | 4 |
| 4.Materiales y Métodos | 5 |
| 4.1. Caracterización del sitio experimental | 5 |
| 4.2. Descripción del suelo en estudio | 5 |
| 4.3. Descripción del Ensayo Experimental | 6 |
| 4.4. Determinaciones realizadas | 7 |
| 4.5 Análisis de la información obtenida | 9 |
| 5. Resultado y Discusión | 10 |
| 5.1. Fenología, precipitaciones y temperatura del aire | 10 |
| 5.2. Cobertura de Suelo | 13 |
| 5.3. Lamina total de agua | 14 |
| 5.4. Producción de biomasa, rendimiento del cultivo y componentes del rendimiento | 17 |
| 5.5 Interacción de las Variables estudiadas | 20 |
| 6. Conclusiones | 24 |
| 7. Bibliografía Citada | 25 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Descripción del perfil del suelo | 5 |
| Tabla 2: Propiedades químicas de los horizontes superficiales | 6 |
| Tabla 3: Fenología del cultivo de Maíz en los diferentes días de crecimiento | 10 |
| Tabla 4: Condición climática del cultivo en las diferentes etapas fonológicas | 12 |
| Tabla 5: Cobertura de Suelo y cantidad de rastrojos (kg MS ha-1) | 13 |
| Tabla 6: Cobertura de Suelo en porcentaje y cantidad de rastrojos (kg MS ha-1) | 14 |
| Tabla 7: Lámina de Agua (mm) en diferentes estados fenológicos del cultivo | 15 |
| Tabla 8: Lámina de Agua (mm) en el ciclo del cultivo en las situaciones fertilizadas | 16 |
| Tabla 9: Lámina de Agua en el ciclo del cultivo sin dosis de fertilizante (mm) | 17 |
| Tabla 10: Materia Seca del cultivo (kg MS .ha-1) en los estados fenológicos del cultivo | 17 |
| Tabla 11: Análisis de la interacción labranzas por fertilizante en Floración (R1) sobre la producción de materia seca (kg MS ha-1) | 18 |
| Tabla 12: Rendimiento y componentes del rendimiento del cultivo | 19 |
| Tabla 13: Numero de grano/m ² y Rendimiento (kg/ha) | 20 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Precipitaciones del ciclo del cultivo 2002-2003, y precipitaciones medias del periodo 1994-2005. Datos por intervalos decádicos. | 11 |
| Figura 2: Temperaturas medias del ciclo del cultivo 2002-2003, y temperaturas medias del periodo 1994-2005. Datos por intervalos decádicos. | 11 |
| Figura 3: Radiación solar del ciclo del cultivo 2002-2003, y del periodo 1994-2005. Datos por intervalos decádicos. | 13 |
| Figura 4: Relación entre la lámina total de agua (valor promedio entre V13 – R4) y la cantidad de rastrojos en superficie al momento de la siembra de maíz. | 16 |
| Figura 5: Rendimiento y producción de biomasa total en R6. | 21 |
| Figura 6: Rendimiento en relación al Número de Granos/m-2 | 21 |
| Figura 7: Número de granos/m-2 según la tasa de crecimiento de maíz (TCC) del periodo entre V13 – R4. | 22 |
| Figura 8: Rendimiento en Kg/ha comparado con tratamiento fertilizado con cobertura | 22 |
| Figura 9: Rendimiento en Kg/ha comparado con Tratamiento sin fertilizante, con cobertura | 23 |

RESUMEN

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la Argentina, en los últimos 30 años, cubrió una superficie promedio de 3,4 millones de hectáreas por campaña, con picos cercanos a los 5 millones a inicios de los setenta. La siembra directa en los últimos años ha tenido un crecimiento importante en el sur de la provincia de Córdoba, Republica Argentina especialmente para la siembra de maíz, en este sentido durante la campaña 2000/01 en el departamento de Río Cuarto se sembró el 35,3% del total provincial, siendo el departamento de mayor aporte. El manejo del suelo en siembra directa presenta una menor disponibilidad de Nitrógeno para los cereales de maíz y trigo, siendo necesarias mayores dosis de fertilizantes nitrogenados, para mayores o iguales rendimientos a los obtenidos con labranza reducida y labranza convencional. El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de las distintas técnicas de labranzas y fertilización nitrogenada, sobre la producción del cultivo de maíz. El ensayo se realizó en el campo de experimentación y docencia de la U.N.R.C 'Pozo de Carril', ubicado en el paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba, Republica Argentina, se sembró en el período agrícola 2002/03 utilizando un diseño experimental en bloques completos aleatorios con arreglo espacial en parcelas subdivididas. Se emplearon dos repeticiones espaciales por tratamiento. El factor principal fue el sistema de labranza y el factor secundario la fertilización nitrogenada, los resultados se analizaron mediante ANAVA, comparación de medias mediante el test de LSD al 5% de probabilidad y análisis de regresión lineal, mediante el programa INFOSTAT (2003) obteniendo interacción entre los sistemas de labranza y la fertilización nitrogenada para la producción de granos del cultivo de maíz. La fertilización nitrogenada incrementa la producción de biomasa aérea del maíz independientemente del tipo de labranza utilizada.

Palabras clave: Maíz – Labranza – Fertilización.

SUMMARY

“Influence of nitrogen fertilization on the dry matter production and yield corn in different tillage system”

In Argentina the last 30 years, the corn crop (*Zea mays* L.) cover an average surface of 3.4 millions has. per farm year with a pick of near 5 millions at the beginnings of seventies. In the last years in the south of Cordoba, Argentina, the increase of no-tillage was too important mainly for the corn planting, during the farm year 2000/01 in Rio Cuarto department from all the province has been planting the 35.3%, becoming the most important department in this sense. The soil management in no-tillage, offer a less available of Nitrogen for corn and wheat cereals, been necessary more dose from nitrogen fertilization to obtain the same production or more than in conventional or no-tillage. The objective of this work was evaluating the impact of different tillage and nitrogen fertilization over the production of corn crop. The Trial was done in the experimental and teaching country of U.N.R.C. “Pozo del Carril”, in the place La Aguada, Rio Cuarto department, Cordoba, Argentina; it was tillage in agriculture period 2002/03, using an experimental design in complete random block with space arrangement in sub split-plot design. For each treatment they were use two space repetitions. The main factor was the ullage system and the secondary was nitrogen fertilization, the result were analyses by means of ANAVA, comparing mean with LSD test at 5% of probability and lineal regression analyse, with the INFOSTAT program (2003) to obtain interaction between tillage system and nitrogen fertilization to produce grain in the corn crop. The nitrogen fertilization increase the production of air biomass of corn, independent the rate of tillage use.

Code words: Corn-Tillage-Fertilization.

INFLUENCIA DE LA FERTILIZACION NITROGENADA SOBRE LA PRODUCCION DE MATERIA SECA Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE MAIZ EN DIFERENTES SISTEMAS DE LABRANZAS

1. INTRODUCCION

En Argentina, y principalmente dentro de la región pampeana, la producción agrícola se ha realizado durante casi un siglo, aprovechando la fertilidad natural de sus tierras. En efecto, los suelos predominantes (denominados Molisoles) son de alta fertilidad, tanto por sus propiedades químicas y biológicas como por sus características físicas, lo que favorece el establecimiento y el crecimiento de los cultivos.

En los últimos 30 años, con la intensificación de la agricultura, se ha producido un empobrecimiento progresivo de la fertilidad de los suelos, provocado principalmente por pérdida de la materia orgánica. Esto puede atribuirse a los sistemas de labranzas utilizados, a la creciente expansión de las oleaginosas y a la falta de una adecuada reposición de los nutrientes extraídos del sistema (Berardo, 2005).

En la última década, se realizó un uso agrícola más intensivo del recurso suelo que produjo un incremento en la producción de granos y el desplazamiento de la ganadería como una manera de maximizar beneficio. Este crecimiento de la agricultura se ha realizado, en muchos casos, utilizando excesivos laboreos, con implementos inadecuados y en momentos inoportunos. Además, los suelos han sido destinados a secuencias de cultivos que no contemplan la aptitud de los mismos y con muy bajo uso de fertilizantes (Darwich, 1991).

En la llanura pampeana, el contenido de materia orgánica es alto en la zona este y disminuye hacia el oeste de acuerdo al régimen de lluvias, pero se observan variaciones marcadas para cada localidad, según el número de años bajo agricultura continua (Echeverría y Ferrari, 1993).

El cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la Argentina, en los últimos 30 años, cubrió una superficie promedio de 3,4 millones de hectáreas por campaña, con picos cercanos a los 5 millones a inicios de los setenta. En el ciclo productivo (99/00) se sembraron 3,63 millones de hectáreas; lo cual convierte al cultivo de maíz en uno de los principales cereales cultivados en el país (Lorenzatti, 2000).

La siembra directa en los últimos años ha tenido un crecimiento importante en el sur de la provincia de Córdoba especialmente para la siembra de maíz, en este sentido durante la campaña 2000/01 en el departamento de Río Cuarto se sembró el 35,3% del total provincial, siendo el departamento de mayor aporte. De esta superficie el 63% se ha estimado que se realiza bajo el sistema de siembra directa (Lorenzatti, 2002).

Por su volumen de producción y las características de sus residuos, el maíz tiene un rol importante en la sustentabilidad de los sistemas de producción. La presencia de éste en la secuencia de cultivos se asocia con menores caídas de materia orgánica del suelo debido al mayor volumen de residuos que deja. Además, en la rotación agrícola incrementa la estabilidad de agregados del suelo según lo indicado por Bricchi *et al.*, (2004).

La producción de materia seca y de grano, se relaciona con el desarrollo de área foliar, la cual es responsable de la intercepción y conversión de la radiación solar incidente en foto asimilados (Andrade *et al.*, 1996). También se relaciona con la capacidad transpiratoria de las hojas, dado que la apertura de estomas permite mantener el intercambio gaseoso y con ello la provisión del CO₂ necesario para el proceso fotosintético (Tanner y Sinclair, 1983).

En maíz, el rendimiento está más asociado al número final de granos logrados que al peso de los mismos, como lo demuestran los altos coeficientes de correlación que se encuentran entre el número de granos y el rendimiento (Otegui y Andrade, 2000).

El manejo del suelo sin labranzas, siembra directa (SD) presenta una menor disponibilidad de Nitrógeno para los cereales Maíz y Trigo. En consecuencia, se hacen necesarias aplicaciones de dosis de fertilizantes nitrogenados para mayores o iguales rendimientos a los obtenidos con labranza reducida (LR) y labranza convencional (LC) (Melgar, 1998).

En la nutrición de las plantas de maíz, el nitrógeno y el fósforo son los dos macro nutrientes más limitantes para la producción agrícola en las zonas maiceras de la Argentina. Estos nutrientes condicionan el establecimiento y mantenimiento de la capacidad fotosintética del canopeo y la determinación de la capacidad de los destinos productivos (Maddonni *et al.*, 2003).

Una limitada disponibilidad de agua, implica una menor actividad fotosintética, actuando sola o acompañada por otros factores como, temperatura, clima y suelo, que también afectan la producción de materia seca y producción de cultivo (Sinclair y Muchow, 1999).

De este modo, los diferentes sistemas de labranza y las fertilizaciones, al modificar la oferta ambiental, influyen significativamente sobre los factores de Materia Seca y Rendimiento (García, 1996; Andrade *et al.*, 1996; Gesúmaría *et al.*, 2000; Rivetti *et al.*, 2000; Esposito, 2001).

Deibert y Utler (1998) observaron mayor producción de maíz en LR que en LC, bajo condiciones limitantes de agua. La mayor disponibilidad de agua en labranzas conservacionistas se traduce en un aumento de la producción en grano; principalmente cuando durante el desarrollo del cultivo ocurre un periodo de sequía (Derpsch *et al.*, 1991).

Munawar *et al.* (1990) en un estudio realizado sobre un Paleudalf típico, señalaron que los sistemas de labranza conservacionistas tuvieron rendimientos iguales o superiores al sistema convencional. En el mismo estudio, los niveles de humedad edáfica a lo largo del ciclo del cultivo fueron mayores en siembra directa disminuyendo en labranza reducida y obteniendo los menores niveles de humedad en labranza convencional, estando éstas diferencias asociadas al nivel de rastros mantenidos en superficie.

En la EEA INTA Marcos Juárez, Thomas (1994) mostró una tendencia de un mayor contenido hídrico a medida que disminuyen las labranzas, obteniendo una mayor respuesta en siembra directa, disminuyendo en labranza reducida y labranza convencional, sin embargo los rendimientos de maíz y soja no están relacionados con ésta diferencia de humedad.

En la EEA INTA Manfredi, Dardanelli *et al.* .1996, observaron en experimentos realizados sobre suelo desnudo, sometido durante 8 años a laboreos tradicionales intensivos, comparado con labranzas conservacionistas, una disminución de la evaporación del suelo por un aumento de la materia orgánica, mejor estabilidad estructural de la superficie del suelo, actuando como una restricción del flujo de agua hacia la superficie del suelo.

A nivel del Dpto. Río Cuarto, Gesumaría *et al.* (1999), indicaron que un mayor ingreso del agua de lluvia, permitió una mayor disponibilidad de agua para el cultivo de maíz en un Hapludol típico, lo cual se tradujo en un mayor rendimiento del cultivo en SD que en LC. Además, Espósito (2001) encontró que una mayor disponibilidad hídrica en siembra directa se tradujo en un mayor rendimiento del maíz que el obtenido en labranza con arado de rejas.

Ello es coincidente a lo observado por Logsdon *et al.* (1999) donde el cultivo de maíz bajo sistemas de labranzas conservacionistas es más eficiente en el uso del agua en $2.5 \text{ kg.Ms.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ comparado con laboreo convencional (arado de reja y vertedera).

Las distintas labranzas influyen el crecimiento del cultivo (Biomasa aérea, IAF) por diferentes razones, relacionadas principalmente al ambiente físico y químico del suelo, como por ejemplo: densidad aparente, porosidad, aireación, resistencia mecánica, humedad, disponibilidad de nutrientes (García, 1996).

El aumento de la cobertura del suelo con residuos, aumenta la infiltración de agua de lluvia y sirve como barrera para reducir la temperatura del suelo y la evaporación de agua. Por esto, en sistemas de siembra directa, se ha reportado que los suelos se presentan más fríos, más húmedos, menos aireados, y más densos que bajo laboreo convencional durante la estación de crecimiento del cultivo (Bordoli, 2001).

2. HIPÓTESIS

Los diferentes sistemas de labranza, asociados a uso de fertilizantes, afectan la producción de biomasa vegetativa y el rendimiento en grano del cultivo de maíz.

3. OBJETIVOS

3.1. General

- Evaluar el impacto de distintas técnicas de labranzas y fertilización nitrogenada, sobre la producción del cultivo de maíz.

3.2. Específicos

- Determinar el efecto de los sistemas de labranzas y fertilización sobre la producción de materia seca del maíz.
- Determinar el efecto de los sistemas de labranzas y fertilización sobre el rendimiento en grano del maíz.
- Evaluar el efecto de los sistemas de labranzas y fertilización sobre la disponibilidad de agua para el maíz.

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Caracterización del sitio experimental

El ensayo se realizó en el campo de experimentación y docencia de la U.N.R.C ‘Pozo de Carril’, ubicado en el paraje La Aguada, Departamento Río Cuarto, Provincia de Córdoba, República Argentina (latitud sur 32° 57’ y longitud oeste 64° 50’). Las temperaturas medias oscilan entre 8 y 23 °C, para el mes más frío y más cálido respectivamente y la precipitación media anual es de 850 mm (con el 80% de las lluvias concentradas en período primavera-verano), la vegetación natural es de un bosque abierto, de árboles caducifolios, fragmentados internamente por pastizales. El relieve es normal ondulado, con pendientes del 3 al 4 % de gradiente. El material originario, es un sedimento loessico de textura franca arenosa muy fina. El suelo es un Hapludol típico, franco grueso, mixto térmico (Cantero *et al.*, 1999).

El presente trabajo fue conducido en el marco del Programa de Investigación “Desarrollo de alternativas tecnológicas para la Producción Agropecuaria Sustentable en el oeste de Río Cuarto”.

4.2. Descripción del suelo en estudio

El relieve es normal, suavemente ondulado, con pendientes de longitud largas y gradientes promedios de 1,5 %. El suelo es Hapludol típico, de textura franca arenosa muy fina, presentando susceptibilidad a desagregación superficial y a compactarse. Las limitaciones son erosión hídrica y eólica. (Degioanni, 1998).

Tabla 1: Descripción del perfil del suelo

| Horizonte | A | Bw1 | Bw2 | BC | C |
|-----------------------------|----------|------------|------------|-----------|----------|
| Profundidad (cm) | 0-30 | 30-43 | 43-60 | 60-74 | +74 |
| Materia Orgánica (%) | 1.58 | 0.89 | 0.69 | 0.3 | - |
| Arcilla < 2μ (%) | 15 | 12 | 8 | 6 | 6 |
| Limo 2-50 μ (%) | 40.5 | 37 | 40 | 37 | 35 |
| Arena 50-1000 μ (%) | 45 | 51 | 50 | 55 | 58 |
| Ph | 6.8 | 7 | 7.1 | 7.2 | 7.5 |

En la Tabla 1 podemos observar la descripción estructural del perfil

A: Bloques subangulares, medios, moderados. Límite inferior claro, suave.

Bw1: Bloques subangulares, gruesos, moderados a débiles. Límite inferior claro suave.

Bw2: Bloques subangulares, gruesos y medios, débiles a moderados. Límite inferior gradual suave.

BC: Bloque angulares, medios, débiles. Límite inferior gradual suave.

C: A pedal. Límite inferior gradual suave

Tabla 2. Propiedades químicas de los horizontes superficiales

| Profundidad (cm) | MO (%) | N-NO₃ (pm) | P (ppm) |
|-------------------------|---------------|------------------------------|----------------|
| 0-20 cm | 1.70 | 9.96 | 14.7 |
| 20-40 cm | 0.91 | 15.00 | |

En la Tabla 2 se describen las propiedades químicas de los horizontes superficiales donde se desarrollo el ensayo.

4.3. Descripción del Ensayo Experimental

El ensayo se sembró en el período agrícola 2002/03. El cultivo se implantó sobre un rastrojo de maíz sin recibir pastoreo alguno.

El tamaño de las parcelas fue de 38 surcos por 70 m. de largo.

Los sistemas de labranzas que se realizaron fueron:

- 1) Labranza convencional: 1 pasada de arado de rejas y 1 de rastra excéntrica.
- 2) Labranza reducida: 1 pasada de cincel y 2 pasadas de rastra excéntrica.
- 3) Siembra directa.

En cada sistema de labranza mencionado anteriormente, se llevaron a cabo 2 tratamientos de fertilización:

- a) Labranza con fertilizante,
- b) Labranza sin fertilizante.

En los tratamientos con fertilizantes, se realizó una fertilización inicial a la siembra con 138 kg de fosfato diamónico (18-46-0) ubicado por debajo de la línea de siembra y se re fertilizó con 137 kg de urea/ha a la mitad de los mismos el 18/11/02 (estado fenológico V₄) con urea granulada (46-0-0), de acuerdo a lo recomendado por el modelo NP ZEA. (Gesumaría *et al.*, 2000).

El Maíz sembrado fue un híbrido simple AX 884 IT de NIDERA SA, realizándose la siembra el 22 de octubre del 2002, con una densidad de 62000 semillas/ha. Se utilizó una sembradora neumática marca Bertini de 7 surcos distanciados a 70 cm.

Se realizaron todos los controles necesarios de malezas, plagas y enfermedades para obtener condiciones óptimas de crecimiento y para que no se afecten las variables en estudio.

Para el control de malezas se realizó una aplicación de herbicida en post-emergencia el 29/11/02, con On-Dutty (imazapic 52.5% + imazapir 17.5%), en una dosis de 114 g/ha en 100 lts agua, para el control de gramíneas (Sorgo de alepo, de rizoma y de semilla, Pasto cuaresma y Gramón,) y el de latifoliadas (Malva, Quínoa, Chamico, Enredadera, Nabo y Abrojo). No se observaron enfermedades e insectos en el cultivo que justificaran su control.

El diseño experimental empleado, fue en bloques completos aleatorios con arreglo espacial en parcelas subdivididas. Se emplearon dos repeticiones espaciales por tratamiento. El factor principal fue el sistema de labranza y el factor secundario la fertilización nitrogenada.

4.4. Determinaciones realizadas

A nivel del suelo:

Disponibilidad nutricional:

Los nutrientes evaluados fueron fósforo y nitrógeno, tomando una muestra al momento de la siembra de 0-20 cm. para determinar la cantidad de fósforo disponible, mientras que se muestreó el suelo de 0-20cm y 20-40cm de profundidad, para determinar la cantidad de materia orgánica y nitrógeno disponible como N-NO₃ en V₆.

Estas evaluaciones fueron realizadas obteniendo una muestra sobre la línea de siembra y tres en el entre surco. Las muestras fueron compuestas de 20 tomas realizadas al azar mediante recorridos en zig-zag.

Cantidad de rastrojo en superficie:

Se determinó, en cada sistema de labranza, previo a la siembra del cultivo, tomando 4 muestras de 0.25 m² por cada parcela. Las muestras se llevaron a laboratorio y fueron secadas en estufa con circulación de aire forzado a 105°C hasta peso constante. Los resultados estan expresados en peso de materia seca.

Grado de cobertura de rastrojos:

Se realizó mediante el método de línea de transecta, que consiste en medir cada 0,1 m en 10 m lineales la cantidad de intersecciones con rastrojo superficial (Eck *et al.*, 1994). Se tomaron tres muestras por cada parcela.

Peso específico aparente:

Para su evaluación se emplearon cilindros de 3 cm. de alto y 6 cm. de diámetro. Se tomaron 3 muestras hasta una profundidad de 0-100cm, con un intervalo de las tomas de 0-20, 20-40, 40-70, 70-100cm. El método empleado es el descrito por Klute y Dirksen (1986). Con el peso seco y el volumen del cilindro se determina el peso específico aparente usando la siguiente fórmula:

$$P.E.A.(tn/m^3) = \text{Peso seco del suelo (tn)} / \text{volumen (m}^3\text{)}$$

Humedad gravimétrica:

Se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades del perfil, mediante el uso de barrenos de 2,5 cm. de diámetro, las cuáles fueron secadas en estufa de aire forzado a 105°C hasta peso seco constante.

Las evaluaciones fueron realizadas al momento de la siembra y en V5, V13, R3 y R6, a las siguientes profundidades: 0-20cm, 20-40cm, 40-70cm, 70-100cm, (Klute y Dirksen, 1986).

Lámina de agua:

Los valores de humedad gravimétrica fueron transformados en lámina de agua por capa, según Forsythe (1980) a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Lámina (cm)} = HG * PEA * E =$$

Donde:

HG: humedad gravimétrica.

PEA: peso específico aparente.

E: espesor de horizonte.

A nivel del cultivo:

Fenología:

Se estableció la fecha de ocurrencia de los estadios fenológicos V₅, V₁₃, R₃ y R₆, de acuerdo a la escala propuesta por Ritchie y Hanway (1997).

Materia seca aérea total:

Cuando el cultivo se encontraba en los estadios V₅, V₁₃, R₃ y R₆, se procedió a tomar 2 muestras compuestas por 3 plantas en cada parcela. Las mismas fueron seleccionadas considerando altura similar y que no faltase ninguna planta en la misma línea, ni en las líneas de los costados, es decir que se encontraran en competencia perfecta. Las 3 plantas tomadas en cada muestra, se secaron en estufa a 105° C hasta peso seco constante.

Rendimiento y componentes:

Se determinó mediante cosecha manual de 6 muestras de 7,15 m lineales, es decir 5 m² cada una. Además, se evaluó el número de granos por m² y el peso de las 1000 semillas. Para ello se tomó una muestra por tratamiento, la cual fue evaluada con un contador de semillas automático para separar 2 muestras de 100 granos cada una y así determinar el peso de las 1000 semillas. El número de granos por m² se estableció mediante la siguiente ecuación

$$\text{N}^\circ \text{ granos m}^{-2} = \text{Rendimiento (Kg/m}^{-2}\text{)} * 1000 / \text{Peso de 1000 granos (kg)}.$$

4.5. Análisis de la información obtenida

Los diferentes resultados obtenidos en el ensayo se analizaron mediante ANAVA, comparación de medias mediante el test de LSD al 5% de probabilidad y análisis de regresión lineal, mediante el programa INFOSTAT (2003).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Fenología, precipitaciones y temperatura del aire

Como puede apreciarse en la Tabla 3, el cultivo cumplió su ciclo de crecimiento en 153 días, entre el 22/10/2002 y el 24/03/2003, identificándolo como un cultivar templado de ciclo completo, tal cual lo manifiesta la empresa Nidera SA., sin haberse presentado diferencias fenológicas entre tratamientos en el desarrollo del mismo.

Tabla 3: Fenología del cultivo de Maíz en los diferentes días de crecimiento

| Estado Fenológico | Fecha | Días entre periodo | Días acumulados |
|-------------------|------------|--------------------|-----------------|
| Siembra | 22/10/2002 | | |
| Emergencia | 30/10/2002 | 8 | 8 |
| V ₅₋₆ | 29/11/2002 | 30 | 38 |
| V ₁₃ | 30/12/2002 | 31 | 69 |
| R ₁ | 14/01/2003 | 15 | 84 |
| R ₄ | 11/02/2003 | 28 | 112 |
| MF | 24/03/2003 | 41 | 153 |

Considerando las condiciones ambientales durante todo el periodo de crecimiento, se puede observar en la Figura 1, que las precipitaciones fueron similares al promedio, dado que el registro entre julio 2002 y junio 2003 fue de 735mm, cuando el promedio 1994-2005 para igual periodo es de 785 mm. Entre siembra y madurez fisiológica se registraron 516 mm, siendo este valor similar al promedio (1994-2005) del sitio experimental (figura 1).

Sin embargo, como se aprecia en la Figura 1, la distribución de las precipitaciones fueron diferentes al valor histórico, dado que en la segunda década de Noviembre, coincidente con la etapa previa a V₅, en la primera de Diciembre (V₈), en las dos primeras de enero (V₁₂ – R₁) y en la segunda y tercera de febrero (R₄ y R₅), las mismas fueron inferiores al promedio 1994-2005. En los restantes momentos las precipitaciones fueron superiores a este último.

Las precipitaciones ocurridas entre V₁₃ y R₁, fueron de 41 mm (70 mm inferiores al promedio). Por otro lado, entre R₁ y R₄ el registro pluviométrico indicó 145 mm (80 mm superiores al promedio) (Tabla 2).

Según Cárcova *et al.* (2000), el rendimiento en grano de maíz es altamente dependiente de la oferta hídrica, en un periodo que se extiende desde 15 días antes hasta 21 después de floración. De acuerdo a lo mencionado anteriormente la oferta de precipitaciones

fue inferior en la primera mitad del periodo crítico. En R₄ y R₆ (Figura 1) las lluvias fueron 92 mm inferiores al promedio histórico (39 vs. 131 mm respectivamente).

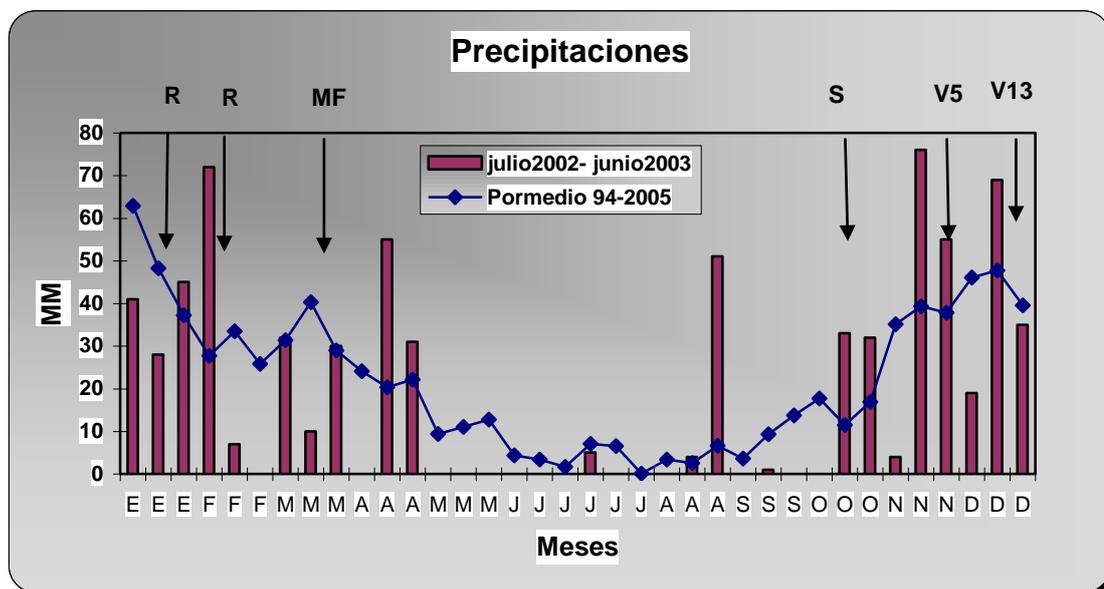


Figura 1: Precipitaciones del ciclo del cultivo 2002-2003, y precipitaciones medias del periodo 1994-2005. Datos por intervalos decádicos.

Según los datos registrados en la estación meteorológica ubicada en el sitio experimental, la temperatura media del aire fue de 20,83 °C, como promedio entre siembra y madurez fisiológica. Este valor es similar a la media histórica para el mismo periodo (20,62°C).

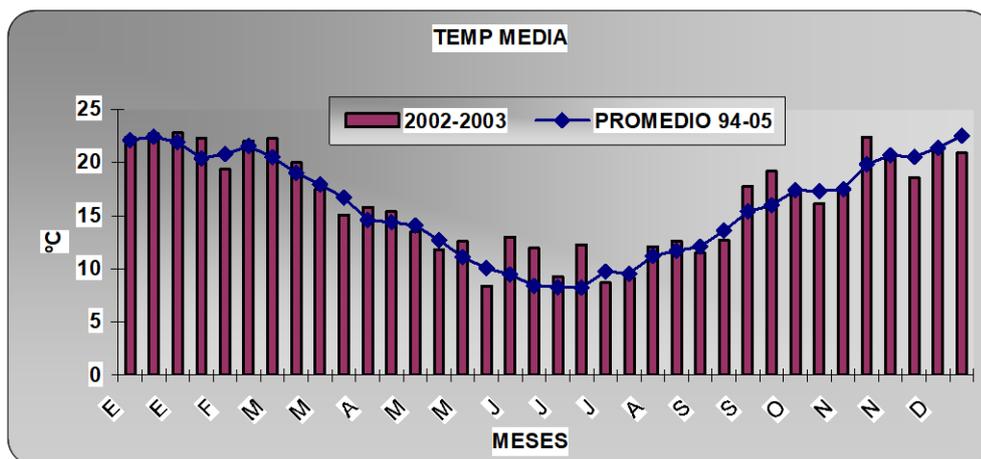


Figura 2: Temperaturas medias del ciclo del cultivo 2002-2003, y temperaturas medias del periodo 1994-2005. Datos por intervalos decádicos.

En función del genotipo, el requerimiento térmico del período floración-madurez varía, aproximadamente, entre 600 y 900 grados-días acumulados sobre una temperatura

base de 8 ° C (Kiniry y Bonhomme, 1991). Para el caso del material genético empleado en este trabajo, el AX884 IT, la compañía Nidera SA presenta una acumulación térmica calculada para la localidad de Venado Tuerto de 770 °C en el periodo de emergencia – R₁ y de 800 °C en el periodo R₁-R₆ (Temperatura base 10°C). Por lo tanto el comportamiento del cultivo fue normal en cuanto a su desarrollo fenológico (Tabla 4).

Tabla 4: Condición climática del cultivo en las diferentes etapas fonológicas

| Estado Fenológico | Suma Térmica entre etapa | Suma Térmica acumulada | Lluvia entre etapa | Lluvia acumulada |
|-------------------|--------------------------|------------------------|--------------------|------------------|
| Siembra | | | | |
| Emergencia | 57.28 | 57.28 | 32 | 32 |
| V ₅ | 303.61 | 360.89 | 135 | 167 |
| V ₁₃ | 320.87 | 681.76 | 124 | 291 |
| R ₁ | 185.84 | 867.6 | 41 | 332 |
| R ₄ | 349.22 | 1216.82 | 145 | 477 |
| R ₆ | 367.26 | 1584.08 | 39 | 516 |

Como se puede apreciar en la Figura 3, la Radiación solar incidente entre julio de 2002 a junio de 2003 fue similar al promedio del periodo 1994-2005. En este sentido, entre siembra y madurez fisiológica se registraron 3618 MJ. m², siendo el valor promedio de 3736 MJ. m². Además en el periodo comprendido entre V₁₃ y R₄ la radiación solar fue idéntica al promedio histórico, siendo su valor de 1033 MJ. m².

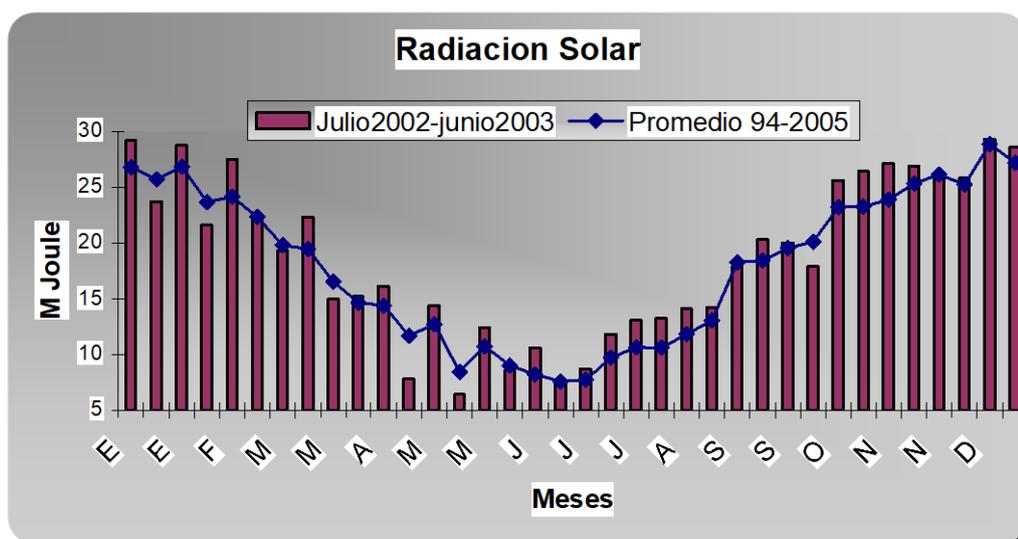


Figura 3: Radiación solar del ciclo del cultivo 2002-2003, y del periodo 1994-2005.

Datos por intervalos decádicos.

5.2. Cobertura de Suelo

La condición superficial del suelo previa a la siembra se observa en la Tabla 5, como cobertura porcentual de la superficie y como biomasa seca en kg de rastrojo por hectárea, para los tratamientos de Siembra Directa, Labranza Reducida y Labranza Convencional.

El análisis estadístico de los datos muestra en ambas variables que la interacción labranza* fertilizante fue significativa al 5% de probabilidad.

Tabla 5: Cobertura de Suelo y cantidad de rastrojos (kg MS ha⁻¹)

| | Cobertura % | kg rastrojos MS ha ⁻¹ |
|-------------------------|---------------|-------------------------------------|
| Siembra Directa | 95.68 a | 7399.75 a |
| Labranza Reducida | 34.25 b | 2532.00 b |
| Labranza Convencional | 8.28 c | 7.50 c |
| LSD ($\alpha=0,05$) | 12.99 | 1283.82 |
| Con Fertilizante | 47.12 a | 3940.67 a |
| Sin Fertilizante | 45.02 b | 2685.50 b |
| LSD ($\alpha=0,05$) | 327.18 | 90.45 |
| Labranza * Fert. (Pr>F) | 0.0234 | 0.0001 |
| C.V. (%) | 2.27 | 1.49 |

Labranza*Fertilizantes valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD. MS; materia seca.

En la Tabla 6, se puede apreciar el efecto interactivo entre el sistema de labranzas y la fertilización. Como en siembra directa los rastrojos permanecen en su totalidad a nivel superficial, la cobertura fue igual en la situación fertilizada que sin fertilizar. En cambio en los tratamientos con labranza, las labores incorporan los rastrojos y en las parcelas fertilizadas se producen mayores niveles de cobertura que cuando no se fertiliza, por un mayor crecimiento y rendimiento en el cultivo antecesor.

Analizando la cantidad de rastrojos en superficie, hay diferencias en Siembra Directa por la utilización de fertilizantes. Coincidiendo con lo planteado por García (1996), dado que la fertilización incrementa la producción de biomasa y por ello el aporte de residuos al suelo. En la labranza reducida el comportamiento es similar a siembra directa pero de menor magnitud, debido a la incorporación parcial de los rastrojos por el laboreo. Mientras que en labranza convencional el efecto del arado de rejas incorpora casi la totalidad de los mismos y por ende no hay diferencias del contenido de rastrojos en superficie por la fertilización.

Tabla 6: Cobertura de Suelo en porcentaje y cantidad de rastrojos (kg MS ha⁻¹)

| | Cobertura % | Kg rastrojos Ms/ha |
|---|-------------|-----------------------|
| Siembra Directa Con Fertilizantes | 94.25 a | 8867 a |
| Siembra Directa Sin Fertilizantes | 97.10 a | 5933 b |
| Labranza Reducida Con Fertilizantes | 36.40 b | 2945 c |
| Labranza Reducida Sin Fertilizantes | 32.10 c | 2120 d |
| Labranza Convencional Con Fertilizantes | 10.70 d | 11 e |
| Labranza Convencional Sin Fertilizantes | 5.85 e | 5 e |
| LSD (0.05) | 3.33 | 157 |

Labranza*Fertilizantes valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.
En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

5.3. Lamina total de agua:

En la lámina total de agua en la interacción Labranza por Fertilizante, fue estadísticamente significativa en todos los muestreos a lo largo del ciclo del cultivo. Por este motivo en la Tabla 7 se presenta el análisis de la interacción, en la cual se aprecia que al momento de la siembra, el tratamiento con menor contenido de agua fue el de SD sin fertilizar, ello puede ser explicado por el menor contenido de rastrojo superficial que se encontró en estas parcelas, que posiblemente favoreció las pérdidas por evaporación al mantenerse la continuidad capilar por ausencia de la remoción del suelo (Jalota y Prihar, 1998).

En los restantes estadios fenológicos evaluados, se encontró una mayor disponibilidad de agua en el sistema de SD fertilizado posiblemente por el mayor nivel de cobertura en el suelo, coincidiendo con lo planteado por Bordoli (2001), donde la cobertura aumenta la disponibilidad de agua por mejorar el balance hídrico. Además, Espósito (2001) también encontró una mayor disponibilidad de agua SD fertilizado con altos niveles de cobertura que en los tratamientos con labranza.

El efecto de la fertilización sobre el agua del suelo fue significativo en SD para todos los estadios evaluados, donde las parcelas fertilizadas superaron a las no fertilizadas. En los tratamientos con labranza, la fertilización no alteró el agua del suelo en ninguno de los estadios estudiados. Esto se relacionaría con lo expresado en la Tabla 6, puesto que a mayor cantidad de kg de rastrojos en superficie (SD fertilizado), mayor cantidad de agua, similar a lo observado por Thomas (1994).

Tabla 7: Lámina de Agua (mm) en diferentes estados fenológicos del cultivo

| | Siembra | V₅₋₆ | V₁₃ | R₁ | R₄ | MF |
|-------------------------|----------------|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| SD Fertilizado | 169 a | 235 a | 229 a | 193 a | 213 a | 198 a |
| SD No Fertilizado | 125 b | 194 b | 200 b | 167 b | 178 b | 146 b |
| LR Fertilizado | 158 a | 198 b | 193 bc | 156 bc | 163 bc | 145 b |
| LR No Fertilizado | 157 a | 188 b | 185 bc | 149 bc | 157 c | 141 b |
| LC Fertilizado | 158 a | 186 b | 181 bc | 149 bc | 154 c | 142 b |
| LC No Fertilizado | 158 a | 184 b | 177 c | 140 c | 156 c | 140 b |
| LSD (0.05) | 25.98 | 22.5 | 19.5 | 20.62 | 15.7 | 20.62 |
| Labranza * Fert. (Pr>F) | 0.0001 | 0.0001 | 0.0189 | 0.025 | 0.0046 | 0.0026 |
| C.V. (%) | 15.3 | 13.6 | 15.4 | 20.60 | 14.5 | 21.4 |

Labranza*Fertilizantes valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA. En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

En la figura 4 se presenta la relación entre la lámina total de agua (valor promedio entre V₁₃ – R₄) y la cantidad de rastrojos al momento de la siembra que fue lineal con un ajuste del 92.85%(figura 4), donde por cada tonelada de rastrojo en la superficie del suelo, se observó un incremento en la lámina de agua de 5.54 mm. Este efecto es de significativa relevancia en situaciones de estrés hídrico y permite interpretar que el mantenimiento de importante volúmenes de rastrojos en superficie favorece el balance hídrico de los cultivos como fue propuesto por Espósito (2007).

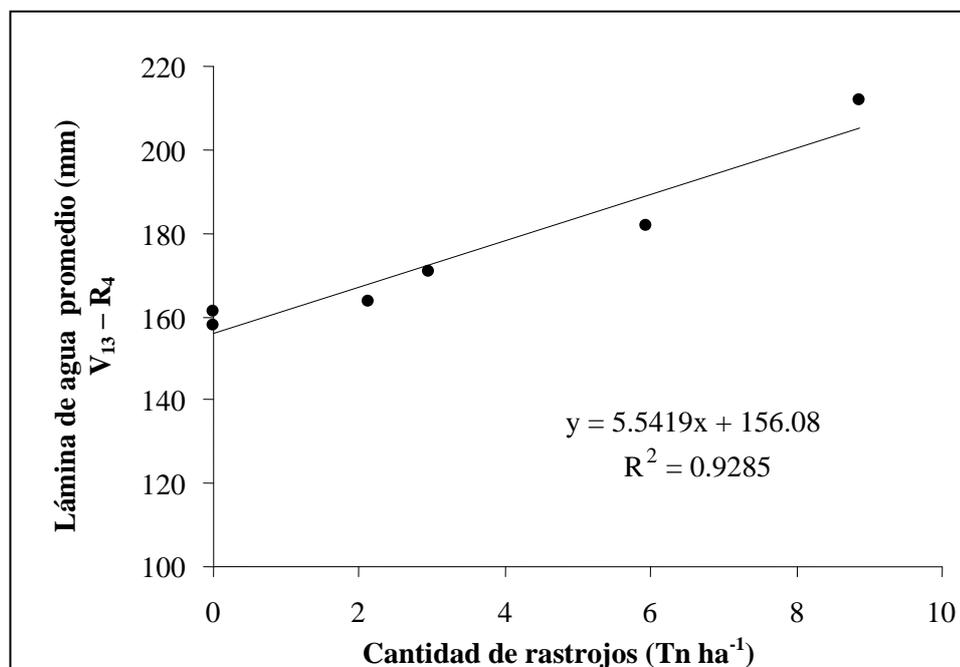


Figura 4: Relación entre la lámina total de agua (valor promedio entre V₁₃ – R₄) y la cantidad de rastrojos en superficie al momento de la siembra de maíz.

La comparación entre labranzas en los tratamientos fertilizados (Tabla 8) indica que, siembra directa supera a las otras labranzas en todos los estadios evaluados en un rango que oscila entre el 6,5% al 27%. Por el contrario, en las parcelas no fertilizadas la siembra directa presentó los mismos contenidos hídricos que los tratamientos con labranzas en todos los estadios a excepción del momento de la siembra, donde fue inferior a éstos en un 20.4% (Tabla 7).

Tabla 8: Lámina de Agua (mm) en el ciclo del cultivo en las situaciones fertilizadas

| | Siembra | V5-6 | V13 | R1 | R4 | MF |
|----------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SD Fertilizado | 169 a | 235 a | 229 a | 193 a | 213 a | 198 a |
| LR Fertilizado | 158 b | 198 b | 193 b | 156 b | 163 b | 145 b |
| LC Fertilizado | 158 b | 186 b | 181 b | 149 b | 154 b | 142 b |
| LSD (0.05) | 9.53 | 14.29 | 15 | 18.34 | 26.01 | 20.13 |
| C.V. (%) | 12.52 | 13.90 | 17.4 | 26.21 | 17.05 | 15.74 |

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

Tabla 9: Lámina de Agua en el ciclo del cultivo sin dosis de fertilizante (mm)

| | Siembra | V ₅₋₆ | V ₁₃ | R ₁ | R ₄ | MF |
|-------------------|---------|------------------|-----------------|----------------|----------------|-------|
| SD No Fertilizado | 125 b | 195 a | 200 a | 167 a | 178 a | 146 a |
| LR No Fertilizado | 157 a | 188 a | 185 a | 149 a | 157 a | 141 a |
| LC No Fertilizado | 158 a | 189 a | 177 a | 140 a | 154 a | 140 a |
| LSD (0.05) | 17.57 | 16.94 | 29.87 | 38.28 | 43.17 | 24.39 |
| C.V. (%) | 28 | 20.9 | 24.35 | 24.35 | 31.35 | 39.8 |

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

5.4. Producción de biomasa, rendimiento del cultivo y componentes del rendimiento

La producción de biomasa sólo fue afectada de manera interactiva por las labranzas y la fertilización en R₁. En las restantes etapas fenológicas, no se encontró interacción como tampoco diferencia significativa entre las labranzas evaluadas (Tabla 10).

La aplicación de fertilizantes incrementó la producción de biomasa en V₅, V₁₃, R₄ y R₆, en un rango de magnitud del orden del 86%, 98%, 120% y 102% respectivamente. La diferencia de biomasa encontrada por la aplicación sucesiva de fertilizantes es coincidente con lo planteado por Fontanetto (1999); Vivas *et al.* (2001), Fontanetto *et al.* (2002); los cuales señalaron que la fertilización nitrogenada en cantidades de 80 a 150 kg/ha de N permite lograr incrementos significativos en el crecimiento del maíz.

Tabla 10: Materia Seca del cultivo (kg MS .ha⁻¹) en los estados fenologicos del cultivo

| | V ₅ | V ₁₃ | R ₁ | R ₄ | R ₆ |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| Siembra Directa | 159 a | 4387 a | 8094 a | 10188 a | 14111 a |
| Labranza Reducida | 207 a | 4400 a | 7693 a | 10490 a | 15838 a |
| Labranza Convencional | 269 a | 5043 a | 8867 a | 11187 a | 14697 a |
| LSD (0.05) | 135 | 1271 | 2091 | 2298 | 8364 |
| Con Fertilizante | 275 a | 6121 a | 11238 a | 14607 a | 19896 a |
| Sin Fertilizante | 148 b | 3099 b | 5198 b | 6637 b | 9868 b |
| LSD (0.05) | 59 | 711 | 1004 | 2298 | 4668 |
| Labranza * Fert. (Pr>F) | 0.2582 | 0.0679 | 0.0209 | 0.3844 | 0.1249 |
| C.V. (%) | 15.11 | 8.39 | 6.65 | 17.44 | 17.07 |

Labranza*Fertilizantes valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA. En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

El análisis de la interacción entre labranzas y fertilización para la producción de biomasa en R₁, se puede apreciar en la Tabla 11. En la misma se observa que, si bien hubo respuesta a la fertilización en los tres sistemas de labranza, la magnitud de la misma es diferencial, dado que en SD la respuesta fue del 235%, en LR fue del 84% y en LC del 75%. Esta situación también fue encontrada por numerosos autores como Dardanelli *et al.* (1996), que explicaron que en SD existe una menor mineralización de la materia orgánica del suelo producto de la menor aireación del mismo que provocan las labranzas.

Tabla 11: Análisis de la interacción labranzas por fertilizante en Floración (R₁) sobre la producción de materia seca (kg MS ha⁻¹)

| Tratamientos | R ₁ |
|---|----------------|
| Siembra Directa Con Fertilizantes | 12461 a |
| Labranza Convencional Con Fertilizantes | 11285 ab |
| Labranza Reducida Con Fertilizantes | 9968 b |
| Labranza Convencional Sin Fertilizantes | 6450 c |
| Labranza Reducida Sin Fertilizantes | 5419 cd |
| Siembra Directa Sin Fertilizantes | 3727 d |
| LSD (0.05) | 1739 |

En columnas, valores en negrita y letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

El rendimiento del cultivo y sus componentes se presentan en la Tabla 12, donde se aprecia que la interacción labranza por fertilizante es estadísticamente significativa en el rendimiento y en el número de granos/m², no ocurre lo mismo en el N° plantas/ha y en el peso de 1000 granos.

El N° plantas/ha fue afectado por la labranza utilizada, donde en SD la población de maíz fue a cosecha, un 10.7% y un 6.8% mayor que LC y LR, respectivamente. Contrariamente, la fertilización no afectó estadísticamente la densidad poblacional del maíz. Estos resultados son coincidentes con Gesumaría *et al.* (1999), y contradictorios a los observados por Bordoli (2001), dado que en condiciones subhúmedas y suelos arenosos la siembra directa con residuos superficiales favorece la disponibilidad hídrica superficial y con ello el establecimiento de las plantas, mientras que bajo condiciones húmedas y frías en suelos arcillosos la menor temperatura superficial afecta la emergencia de plantas en siembra directa comparada con siembras bajo labranza.

En relación al peso de los granos, las labranzas no presentaron efectos significativos sobre este componente del rendimiento, el cual fue afectado por la fertilización, permitiendo obtener granos un 32.6% más pesados en la parcelas fertilizadas que en las sin fertilizar. En este sentido, cabe destacar que las deficiencias de nutrientes reducen el peso de los granos de maíz porque se afecta la determinación del número de células endospermáticas y gránulos de almidón en post floración temprana y/o porque disminuye la fuente de asimilados (menor tasa fotosintética y duración del area foliar) durante el periodo de llenado de los granos (Uhart y Adrade, 1995).

Tabla 12: Rendimiento y componentes del rendimiento del cultivo

| | Rendimiento | N° Granos/m⁻² | Peso de 1000 granos | N° plantas/ha⁻¹ |
|-------------------------|--------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| Siembra Directa | 3839 b | 1424 b | 238.75 a | 67000 a |
| Labranza Reducida | 4710 a | 1736 a | 261.25 a | 62750 b |
| Labranza Convencional | 4129 ab | 1453 b | 278.75 a | 60500 b |
| LSD (0.05) | 826 | 183 | 80.50 | 3167 |
| Con Fertilizante | 6503 a | 2220 a | 296.67 a | 64500 a |
| Sin Fertilizante | 1949 b | 855 b | 222.50 b | 62333 a |
| LSD (0.05) | 429 | 263 | 53.24 | 6895 |
| Labranza * Fert. (Pr>F) | 0.0094 | 0.0221 | 0.5888 | 0.7906 |
| C.V. (%) | 5.52 | 9.34 | 11.16 | 5.92 |

Labranza*Fertilizantes, valores en negrita significan interacción significativa al 5 % de probabilidad según ANAVA.

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

El análisis de la interacción labranza por fertilizante para rendimiento y número de granos/m² (Tabla 13), indica que SD y LR con fertilización rindieron significativamente más que la LC con fertilizantes, sin encontrarse diferencia significativa entre SD y LR. Por el contrario, cuando no se utilizaron fertilizantes, el orden de los tratamientos se invierte dado

que LR y LC obtuvieron un mayor rendimiento que la SD, y no se encontró diferencia significativa entre LR y LC. Esto es coincidente con lo planteado por Maddonni *et al*, (2003) los cuáles plantearon que el nitrógeno y el fósforo son necesarios para la fotosíntesis y la producción de los destinos productivos y con Melgar (1998), quien propone que la respuesta a la fertilización es superior en SD.

En los tratamientos fertilizados las diferencias entre SD y LC fueron del orden de 15.8% y entre LR y LC del 12.8%. Estos resultados concuerdan con los observados por Espósito (2007) en relación a la diferencia de rendimiento entre labranzas, para las condiciones climáticas de la campaña 2002/03, según el ajuste entre lluvias y rendimiento relativos elaborados por este autor.

En relación a los tratamientos sin fertilización, los rendimientos LR y LC son superiores a los de SD, en un rango de magnitud del 188.7% y del 238.7%, respectivamente. Es de destacar que la mayor respuesta a la fertilización en SD, estaría explicada por la diferencia de oferta nitrogenada presente en cada labranza al momento de la fertilización, dado que en SD la oferta de nitrógeno del suelo fue un 40% mayor en las parcelas fertilizadas que en las no fertilizadas, mientras que en LR y LC esta diferencia fue del 4 y 9 % respectivamente (datos no publicados obtenidos del Programa de investigación “Desarrollo de alternativas tecnológicas sustentables para el Oeste de Río Cuarto” en el marco en el cual se desarrollo el presente trabajo final de grado).

En el análisis del número de granos/m², el comportamiento fue similar al rendimiento donde, en los tratamiento fertilizados, SD y LR pudieron obtener estadísticamente más granos por superficie que LC, con diferencias del orden del 31.8% y del 27.2% a favor de las primeras respectivamente. Mientras que en los tratamientos sin fertilización, las diferencias se invierten dado que LC y LR tuvieron un mayor número de granos/m² que SD, no habiendo diferencia entre ellas. Estos resultados son coincidentes con Andrade *et al*. (1996) en cuanto a la elevada correlación entre el rendimiento del maíz y el N° de granos/m² y en este componente del rendimiento está fuertemente influenciado por la oferta nutricional en el periodo comprendido alrededor de la floración del maíz.

También, cabe aclarar que la diferencia de rendimiento entre SD y LC sin fertilización puede estar dada por la cantidad de plantas/ha logradas a cosecha (Tabla 10), tal cual fue propuesto por Cirilo (2002) en relación a la función de denso dependencia del cultivo, producto de su baja plasticidad reproductiva.

Tabla 13: Numero de grano/m² y Rendimiento (kg/ha)

| | Rendimiento | Nº granos /m ² |
|---|-------------|---------------------------|
| Siembra Directa Con Fertilizantes | 6875 a | 2435 a |
| Labranza Reducida Con Fertilizantes | 6697 a | 2350 a |
| Labranza Convencional Con Fertilizantes | 5938 b | 1848 b |
| Labranza Reducida Sin Fertilizantes | 2723 c | 1161 b |
| Labranza Convencional Sin Fertilizantes | 2321 c | 990 b |
| Siembra Directa Sin Fertilizantes | 804 d | 414 c |
| LSD (0.05) | 743 | 456 |

En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5 % de probabilidad según test LSD.

5.5 Interacción de las Variables estudiadas

Coincidiendo con lo planteado por Howell y Tolk (1998), se puede observar en la Figura 5 la relación entre el rendimiento y la biomasa total, donde por cada kg de materia seca producido a R₆ el rendimiento aumenta en 0.41 kg/ha, siendo este valor una correlación directa del índice de cosecha del cultivo.

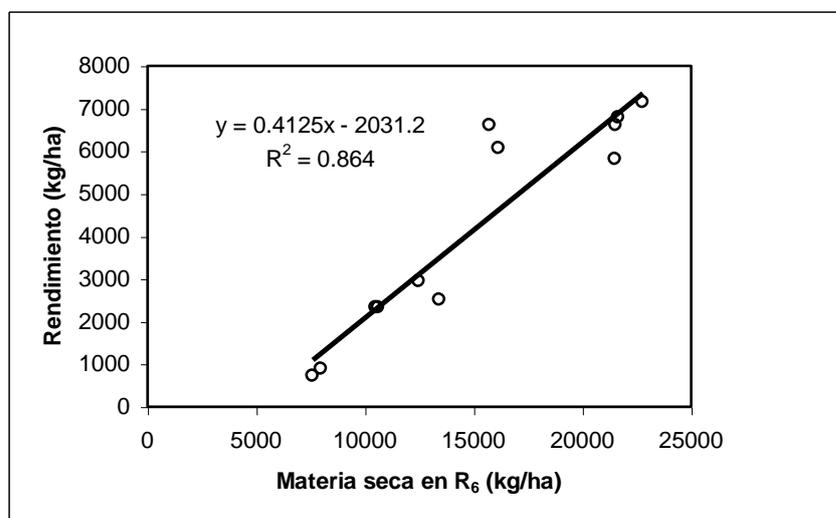


Figura 5: Rendimiento y producción de biomasa total en R₆.

Observando la Figura 6, se puede coincidir con Otegui y Andrade. (2000), ya que el rendimiento de maíz está correlacionado de manera lineal con el número de granos por m². En este caso el 96,6% del rendimiento es explicado por este componente, donde la relación hallada indica que, por cada grano/m² fijado, se incrementó la producción en 3.14 kg/ha.

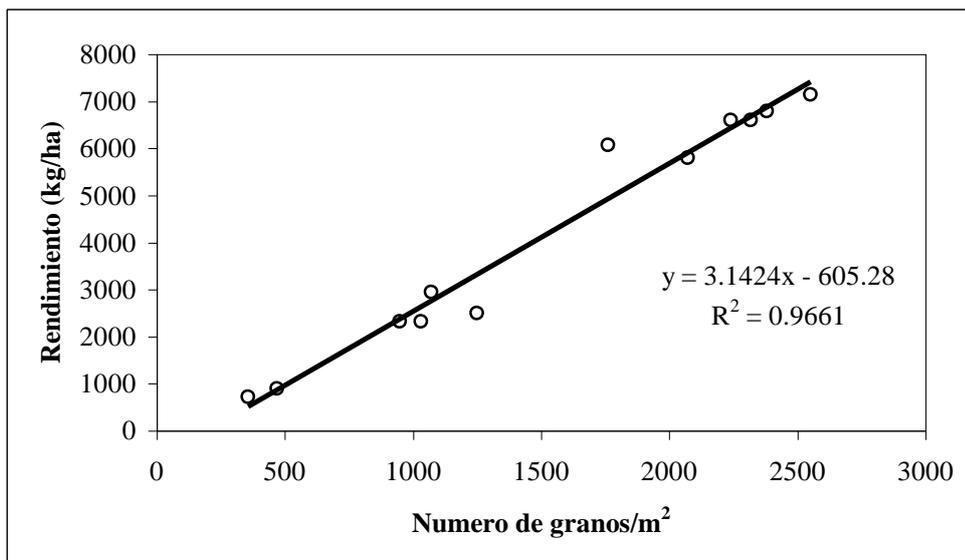


Figura 6: Rendimiento en relación al Número de Granos/m⁻²

Como se puede apreciar en la Figura 7, el N° de granos/m⁻², está relacionado linealmente con la tasa de crecimiento del cultivo del periodo comprendido entre V13 – R4, donde por cada kg MS/d⁻¹ de aumento en la tasa de crecimiento, el N° de granos/m⁻² aumenta en 11.309. Como fue planteado anteriormente que las condiciones de crecimiento del maíz durante este periodo, definen la cantidad de destinos reproductivos y la productividad del mismo (Andrade *et al*, 1996).

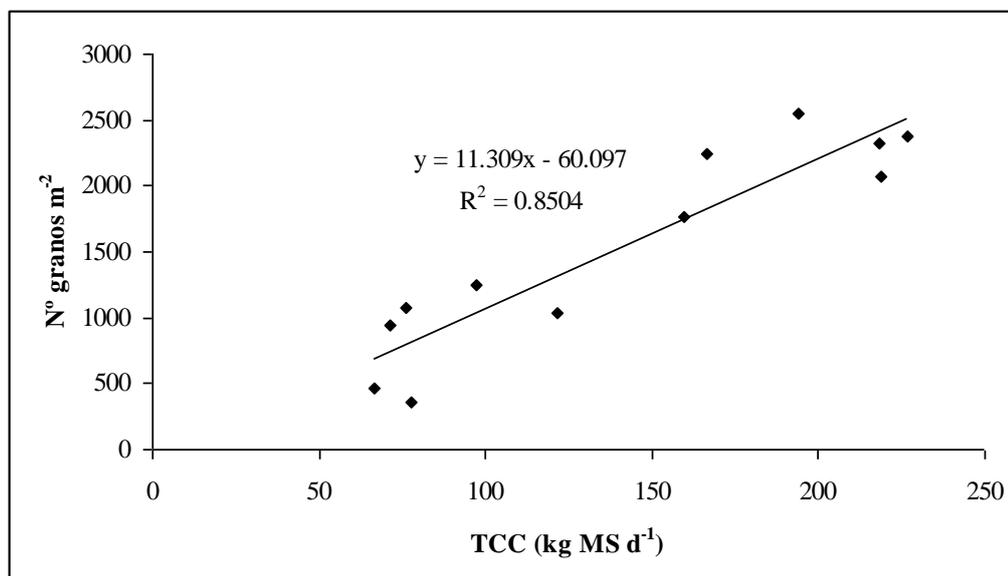


Figura 7: Número de granos/m⁻² según la tasa de crecimiento de maíz (TCC) del periodo entre V₁₃ – R₄.

En virtud de la importancia de la disponibilidad hídrica en la producción del maíz y de la cobertura superficial de rastrojos en la mayor acumulación de agua, se relacionó el

rendimiento del maíz fertilizado con la cobertura superficial con rastrojos (Figura 8). En la misma, se puede apreciar que, por cada aumento del 1% en cobertura se incrementa el rendimiento en 9.76 kg/ha. Estos resultados son coincidentes con lo planteado por Munawar, *et al* (1990), el cual asoció el mayor rendimiento en SD que en LR y que en LC con el mayor nivel de rastrojos superficiales.

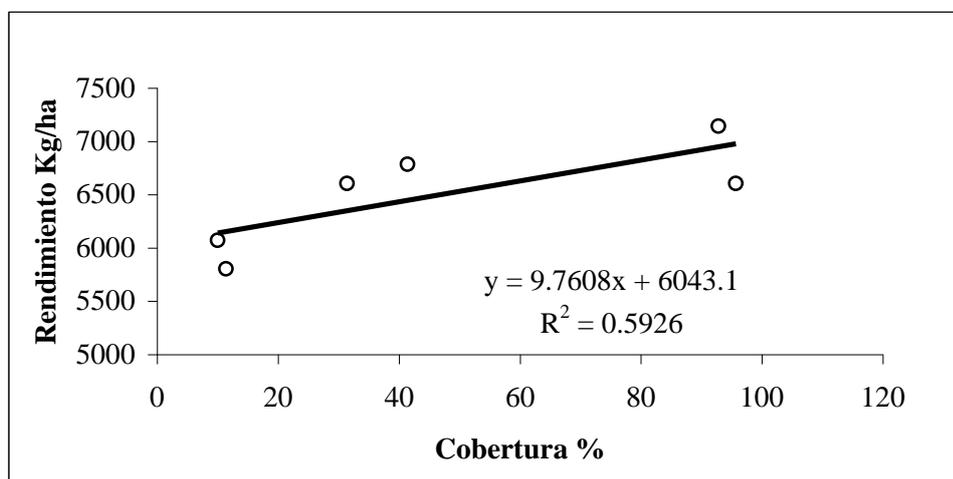


Figura 8: Rendimiento en Kg/ha comparado con tratamiento fertilizado con cobertura

Por el contrario, en las parcelas sin fertilizar (Figura 9), se observa lo contrario, es decir, a mayor cobertura menor rendimiento. Esto es explicado por la baja producción de SD sin fertilizar, aunque al momento de la siembra presentó altos niveles de cobertura superficial.

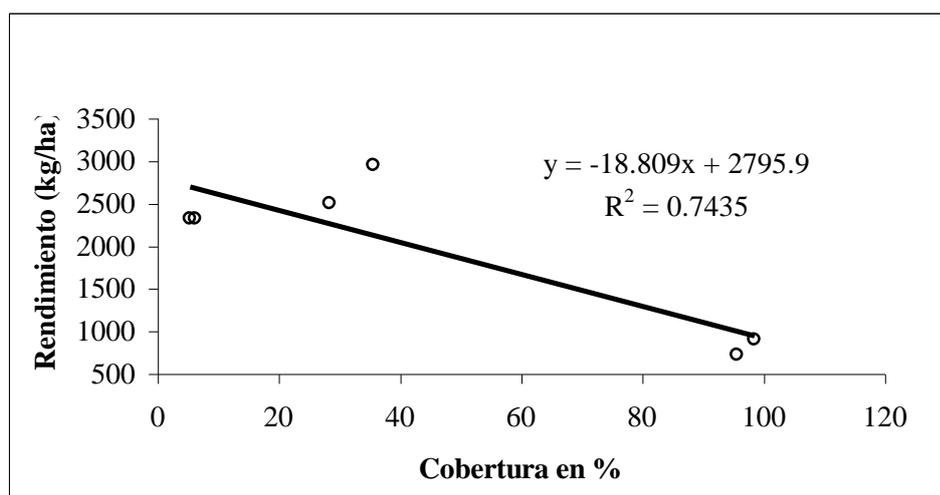


Figura 9: Rendimiento en Kg/ha comparado con Tratamiento sin fertilizante, con cobertura

6. CONCLUSIONES

- ❖ La fertilización nitrogenada incrementa la producción de biomasa aérea del maíz independientemente del tipo de labranza utilizada.
- ❖ Las diferentes labranzas evaluadas no alteraron la producción de biomasa aérea.
- ❖ Se encontró interacción entre los sistemas de labranza y la fertilización nitrogenada para la producción de granos, donde Siembra Directa y Labranza reducida con fertilización, son los tratamientos con mayor rendimiento, mientras que sin fertilización siembra directa es el de menor rendimiento.
- ❖ El mayor rendimiento obtenido en las labranzas conservacionistas con fertilización se explica por un mayor número de granos/m² logrados, producto de la mejor disponibilidad de agua acumulada en el perfil de suelo a lo largo de todos los estadios fenológicos, como resultado de altos niveles de rastrojos que dejan estos sistemas de producción.

7. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ANDRADE, F.; A. CIRILO; S. UHART y M. OTEGUI 1996. Eco fisiología del cultivo de maíz. Dekalb Press. Requerimientos hídricos. Capítulo 5.: 121-146.
- ANDRADE F. H. y J. GARDIOL. 1996. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín técnico 132. Estación experimental Agropecuaria Balcarce (INTA). Balcarce, Buenos Aires, Argentina.
- BERARDO, A. 2005. Manejo de la fertilización en una agricultura sustentable. Revista fertilizar Asociación Civil. Volumen 2005. Pag 27.
- BORDOLI, J. 2001. Dinámica de nutrientes y fertilizantes en siembra directa. Siembra directa en el cono sur. Programa cooperativo para el desarrollo tecnológico agroalimentario y agro industrial del cono sur (PROCISUR).
- BRICCHI, E.; F. FORMIA; G. ESPOSITO; L. RIVERI y H. AQUINO 2004. The effect of topography, tillage and stubble grazing on soil structure and organic carbon levels. Spanish Journal of agricultural research (2004) 2 (3), 409-418.
- CANTERO, A.; E. BRICCHI; J. CISNEROS; V. BECERRA y G. GIL. 1999. Un índice de aptitud relativa de tierras con fines catastrales. Aplicación al Departamento Río Cuarto (Córdoba, Argentina). Invest. Agr.: Prot. Veg. Vol 14 (1-2):.259-272.
- CÁRCOVA, J.; G. MADDONNI, y C. GHERSA 2000. Long-Term Cropping Effects on Maize: Crop Evapotranspiration and Grain Yield Agron. J. 92:1256–1265
- CIRILO, A. 2002. Respuesta a la densidad y distribución de plantas del cultivo. En: E.H. Satorre (ed), Maíz. Cuaderno de Actualización Técnica N° 65. AACREA, Argentina. Pp. 62-71.
- DARDANELLI, J.; O. BACHMEIER; H. SALAS; E. LOVERA y F. NUÑEZ VAZQUEZ. 1996. Evaporación en un haplustol entico bajo dos sistemas de labranza. Ciência del Suelo 12:17-21
- DARWICH, N. 1991. Estado actual y manejo de los recursos naturales en la región pampeana húmeda sur. En: juicio a nuestra agricultura. Buenos Aires, INTA, 17p.

- DEGIOANNI, A. J. 1998. Organización territorial de la Producción agraria en la Región de Río Cuarto (Argentina). Tesis Doctoral. Universidad de Alcalá de Henares. Dpto. de Geografía. Alcalá de Henares. España.
- DEIBERT E. y R. UTLER 1998. Sunflower growth and nutrient uptake: response to tillage system, hybrid maturity and weed control method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53(1):133-138.
- DERPSCH, R.; C. TOTH; N. SIDIRAS y U. KOPKE 1991. Controle da erosao no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. *Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit. Eschborn-Rep. Federal Alemana.* 268p.
- ECHEVERRIA H. y J. FERRARI. 1993. Relevamiento de algunas características de los suelos agrícolas del sudeste bonaerense. *Boletín Técnico No. 135. EEA INTA Balcarce.*
- ECK, K; P. HILL y J. WILCOX 1994. Estimating Corn and soybean residue cover. AY-269. Purdue University Cooperative Extension Service. West Lafayette, IN, USA.
- ESPOSITO, G. 2001. Propiedades hidrofísicas del suelo asociadas a diferentes sistemas de labranzas en cultivo de maíz. Informe final de Tesis para optar al grado de Magister en Producción Agropecuaria, Mención Producción Vegetal. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto.
- ESPOSITO, G. 2007. Doce años de experimentación con ganadería en siembra directa. 4° Simposio de Ganadería en Siembra Directa. AAPRESID. San Luis. Resúmenes.:19-27.
- FONTANETTO, H. 1999. Eficiencia del uso del nitrógeno en maíz con siembra directa. Efecto de diferentes dosis de nitrógeno. Disponible en: http://rafaela.inta.gov.ar/anuario2001/a2001_110.htm.
- FONTANETTO, H.; H. VIVAS y O. KELLER. 2002. Eficiencia del uso del nitrógeno en maíz con siembra directa. Efecto de diferentes dosis de nitrógeno. Disponible en http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/anuario2002/a2002_p119.htm
- FORSYTHE, R. 1982. The late Paleozoic to early Mesozoic evolution of southern South America: A plate tectonic interpretation. *Journal of the Geological Society* 139: 671- 682, Londres.

- GARCIA, F. O. 1996 Dinámica del nitrógeno en ecosistemas agrícolas: Efectos de la siembra directa. Curso de siembra directa. INTA EEA Marcos Juarez. 13 p.
- GESUMARÍA J.; E. BRICCHI; G. ESPOSITO; G. VEGA; C. CASTILLO y F. FORMIA 1999. Disponibilidad hídrica en tres sistemas de labranzas para la producción de maíz 14º Congreso Latinoamericano de la ciencia del suelo. Chile: 615.
- GESUMARIA, J.; C. CASTILLO; G. ESPOSITO; y R. BALBOA. 2000. NP-Zea, Programa para el cálculo de dosis de nitrógeno y fósforo. Registro del derecho de autor DNDA Exp. 97476.
- HOWELL T. A. y J. A. TOLK 1998. Water use efficiency of corn in the U. Southern High Plains. 90th Annual Meeting of Agronomy, Land, Water and Biological Resources. ASA, CSSA and SSSA. Baltimore, MD.
- DI RIENZO, A.; C. ROBLEDO; M. BALZARINI; F. CASANOVES; L. GONZALES; M. TABLADA. 2003. INFOSTAP software estadístico. Registro del derecho de autor de obra de software 960318. Grupo InfoStat www.infostat.com.ar
- JALOTA, S. K. y S. S. PRIHAR 1998. Reducing soil water evaporation with tillage and straw mulching. Iowa State Press. Ames. Chap. 1:1-7.
- KINIRY J.R., y R. BONHOMME.1991. predicting maize phenology. En: T. Hodges (ed). Predicting crop phenology. CRC Press. Boca Raton, Ann Arbor. Boston. Pags.115-131.
- KLUTE A. y C. DIRKSEN 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: Klute A. (Ed.), Methods of soil analysis, 2nd ed. Agron 9, American Society of Agronomy, Madison, WI, pp.:687-460-733.
- LOGSDON S.; D. KARLEN; J. PRUEGER y L. KRAMER. 1999. Field-scale watershed evaluations on deep-loess soils: III. Rainfall and fertilizer N use efficiencies. Journal of Soil & Water Conservation. 54(4):711-716.
- CARCOVA J.; G. MADDONNI y C. GHERSA. 2000. Long-Term Cropping Effects on Maize: Crop Evapotranspiration and Grain Yield. Agron. J. 92:1256–1265 (2000).
- LORENZATTI, S. 2000. Producción de Maíz en la Argentina. Disponible en: (www.clarinrural.com)

- LORENZATTI, S. 2002. El cultivo de maíz en siembra directa. Disponible en :<http://www.fyo.com/general/ampliar.asp?IdNoticia=15151&idtipoinformacion=116>
- MADDONNI, G., VILARIÑO y G. SALOMONE. 2003. Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta. Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Buenos Aires. Argentina. pp 406-474.
- MELGAR, R. J. 1998. El manejo de la fertilización en Siembra Directa. En: Publicación Siembra Directa, Primera Edición, Pag 97-105.
- MUNAWAR, A.; R. BLEVINS; W. FRYE y M. SAUL 1990. Tillage and cover crop management for soil and water conservation. Agron. J. 82:773-777.
- OTEGUI, M. E. y F. H. ANDRADE. 2000. New relationships between light interception, ear growth and kernel set in maize(Chapter 6). En: M. E. Westgate, and K. Boote (eds), Physiology and Modeling of kernel Set in Maize, Crop Sci. Soc. Of América y Amer. Soc. of Agronomy Special Publication N° 29. Baltimore, Maryland, EEUU. pp 89-102.
- RITCHIE W. y J. HANWAY 1997. How a corn plant develops. Special Reports N° 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa.:21 p.
- RIVETTI, G.; L. CHOLAKY; y E. BRICCHI. 2000. Contenido de nitrógeno en plantas de maíz y en el suelo, en tres sistemas de labranza. Informe final de Beca. SECYT. Universidad Nacional de Río Cuarto. Río Cuarto.
- SINCLAIR, T. y R. MUCHOW. 1999. Radiation Use Efficiency. In Advances in Agronomy. San Diego, Calif. Academic Press. 65:215-265.
- TANNER, C. y T. SINCLAIR. 1983. Efficient water use in crop production: research or re-search In: H. M. Taylor, W. R. Jordan, and T. R. Sinclair (eds.), Limitations to efficient water use in crop production, ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI, pp. 1-27.
- THOMAS, G. 1994. Informe de estudios sobre humedad en parcelas de ensayos en la EEA Marcos Juárez. Información para extensión N° 9. EEA INTA Marcos Juárez.:21p.
- UHART, S. y F. ANDRADE. 1995. Nitrogen deficiency in maize (*Zea mays* L.) II. Carbon nitrogen interaction on kernel number and grain yield. Crop Science 35:1384-1389.

VIVAS, H.; H. FONTANETTO y R. ALBRECH. 2001. Fertilización con calcio, magnesio y azufre sobre la producción de maíz en dos sitios del centro de Santa fe. Información técnica de cultivos de verano. Campaña 2001. INTA, EEA Rafaela, Publicación Miscelánea N 95, N 4: 1-5.